



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 43 40 954 A 1

51 Int. Cl.⁵:
G 01 S 5/12
G 05 D 1/10
G 01 C 21/04

(17)
DE 43 40 954 A 1

21 Aktenzeichen: P 43 40 954.7
22 Anmeldetag: 1. 12. 93
43 Offenlegungstag: 9. 6. 94

30 Unionspriorität: 32 33 31
01.12.92 US 984108

71 Anmelder:
Caterpillar Inc., Peoria, Ill., US

74 Vertreter:
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

72 Erfinder:
Kyrtos, Christos T., Peoria, Ill., US; Gudat, Adam J.,
Edelstein, Ill., US

54 Verfahren und Vorrichtung um die Genauigkeit von Positionsabschätzungen in einem satellitengestützten Navigationssystem zu verbessern

57 Eine Vorrichtung und ein Verfahren sind offenbart, um die Position eines Fahrzeugs auf oder in der Nähe der Erdoberfläche aus Navigationssignalen eines satellitengestützten Navigationssystems zu bestimmen. Präzise Positionsabschätzungen werden durch Reduktion des effektiven Empfängergerauschens erreicht. Eine Vielzahl von Empfängergeräten berechnen je einen Pseudoabstand für jeden Satelliten. Ein Signalsoptimierer benutzt dann die Pseudoabstände von allen Empfängergeräten, um einen optimalen Pseudoabstand für jeden Satelliten zu berechnen. Prozessormittel berechnen eine Fahrzeugposition aus den optimalen Pseudoabständen.

DE 43 40 954 A 1

Gebiet der Erfindung

Diese Erfindung bezieht sich allgemein auf das Feld der Navigationssysteme, die eine Konstellation erdumkreisender Satelliten dazu benutzen, die Position eines Empfängers auf oder in der Nähe der Erdoberfläche zu bestimmen. Genauer bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren und eine Vorrichtung, die Genauigkeit von Positionsabschätzungen zu verbessern, indem man das effektive Empfängerrauschen reduziert.

Hintergrund der Erfindung

Einige nationale Regierungen, einschließlich der Vereinigten Staaten von Amerika (U.S.), entwickeln gegenwärtig ein terrestrisches Positionsbestimmungssystem, auf das generisch als globales Positionierungssystem (GPS) Bezug genommen wird. Ein GPS ist ein satellitengestütztes Radionavigationssystem, das darauf ausgelegt ist, hochgenaue, dreidimensionale Positionsinformation an Empfänger auf oder in der Nähe der Erdoberfläche zur Verfügung zu stellen.

Die US-Regierung hat ihr GPS mit "NAVSTAR" bezeichnet. Man erwartet, daß das NAVSTAR GPS für vollständig betriebsbereit von der US-Regierung im Jahre 1993 erklärt wird. Die Regierung der ehemaligen Union der Sowjetischen Sozialistischen Republiken (U.S.S.R.) engagiert sich in der Entwicklung eines GPS, das als "GLONASS" bekannt ist. Desweiteren sind zwei europäische Systeme, die als "NAVSAT" und "GRANAS" bekannt sind, in der Entwicklung. Um die Diskussion zu vereinfachen, konzentriert sich die folgende Offenbarung speziell auf das NAVSTAR GPS. Jedoch besitzt die Erfindung gleiche Anwendbarkeit für andere globale Positionierungssysteme.

In dem NAVSTAR GPS sieht man vor, daß vier umkreisende GPS-Satelliten in jedem von sechs getrennten kreisförmigen Orbits existieren, um eine Gesamtsumme von vierundzwanzig GPS-Satelliten zu ergeben. Von diesen werden einundzwanzig betriebsbereit sein und drei werden als Ersatz dienen. Die Satellitenorbits werden weder polar noch äquatorial sein, sondern werden in gegenseitig orthogonal geneigten Ebenen liegen.

Jeder GPS-Satellit wird die Erde ungefähr einmal alle 12 Stunden umkreisen. Dies zusammen mit der Tatsache, daß die Erde einmal alle 24 Stunden um ihre eigene Achse rotiert, bewirkt, daß jeder Satellit exakt zwei Orbits vollendet, während die Erde eine Umdrehung macht.

Die Position jedes Satelliten zu jeder gegebenen Zeit wird präzise bekannt sein und ständig zur Erde übertragen werden. Jede Positionsinformation, die die Position des Satelliten im Raum bezüglich der Zeit (GPS-Zeit) anzeigt, ist als ephemerische Information oder Daten bekannt.

Zusätzlich zu den ephemerischen Daten schließt das Navigationssignal, das von jedem Satelliten übertragen wird, eine präzise Zeit ein, zu der das Signal übertragen oder gesendet wurde. Der Abstand oder der Bereich von einem Empfänger zu jedem Satelliten kann bestimmt werden unter Benutzung dieser Sende- oder Übertragungszeit, die in jedem Navigationssignal eingeschlossen ist. Durch Notieren des Zeitpunktes, an dem das Signal am Empfänger empfangen wurde, kann eine Ausbreitungszeitverzögerung berechnet werden. Diese Zeitverzögerung, wenn sie mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals multipliziert wird, wird einem "Pseudoabstand" von dem sendenden Satelliten zum Empfänger ergeben.

Dieser Abstand wird "Pseudoabstand" genannt, weil die Empfängeruhr nicht präzise mit der GPS-Zeit synchronisiert sein kann und weil die Ausbreitung durch die Atmosphäre Verzögerungen in den Ausbreitungszeiten des Navigationssignals einführt. Diese haben einen Uhrenfehler bzw. einen atmosphärischen Fehler oder Abweichung zur Folge. Uhrenfehler können bis zu einigen Millisekunden betragen.

Benutzt man diese beiden Informationsteile (die ephemerischen Daten und den Pseudoabstand) von mindestens drei Satelliten, kann die Position eines Empfängers in Bezug auf den Erdmittelpunkt unter Benutzung passiver Triangulierungstechniken bestimmt werden.

Die Triangulierung schließt drei Schritte ein. Zuerst muß die Position von mindestens drei Satelliten "im Blick" des Empfängers bestimmt werden. Zweitens muß der Abstand von dem Empfänger zu jedem Satelliten bestimmt werden. Schließlich wird die Information der ersten beiden Schritte dazu benutzt, geometrisch die Position des Empfängers in Bezug auf den Erdmittelpunkt zu bestimmen.

Indem man mindestens drei der umkreisenden GPS-Satelliten benutzt, erlaubt die Triangulierung die absolute irdische Position (Längengrad, Breitengrad und Höhe in Bezug auf den Erdmittelpunkt) von irgendeinem Erdempfänger über eine einfache geometrische Theorie auszurechnen. Die Genauigkeit der Positionsabschätzung hängt teilweise von der Anzahl der umkreisenden GPS-Satelliten ab, die aufgenommen werden. Indem man mehr GPS-Satelliten in der Berechnung benutzt, kann man die Genauigkeit der irdischen Positionsabschätzung erhöhen.

Gewöhnlich werden vier GPS-Satelliten aufgenommen oder getastet (sample), um jede irdische Positionsabschätzung zu bestimmen. Drei dieser Satelliten werden für die Triangulierung benutzt und ein vierter wird hinzugefügt, um den oben beschriebenen Uhrenfehler zu korrigieren. Falls die Empfängeruhr präzise mit der der GPS-Satelliten synchronisiert wäre, dann wäre dieser vierte Satellit nicht nötig. Jedoch sind präzise (zum Beispiel Atom-) Uhren teuer und sind deshalb nicht für jede Anwendung geeignet.

Für eine detailliertere Diskussion über das NAVSTAR GPS, siehe Parkinson, Bradford W. und Gilbert, Stephen W., "NAVSTAR; Global Positioning System — Ten Years later," Proceedings of the IEEE, Band 71, Nr. 10, Oktober 1983; und "GPS: A Guide to the Next Utility", veröffentlicht von der Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, Kalifornien, 1989, Seiten 1—47, die beide hier durch Bezugnahme aufgenommen wurden. Für eine detaillierte Diskussion eines Fahrzeugpositionierungs/Navigationssystems, das das NAV-STAR GPS benutzt,

siehe das in gemeinsamem Sitz befindliche U.S. Pat. Appl. Ser. No. 07/628,560, dessen Titel "Vehicle Position Determination System and Method", das am 3. Dezember 1990 eingereicht wurde, das hier durch die Bezugnahme aufgenommen wurde.

In dem NAVSTAR GPS werden die elektromagnetischen Signale von jedem Satelliten kontinuierlich übertragen unter Benutzung einer einzigen Trägerfrequenz. Jedoch benutzt jeder Satellit einen verschiedenen Modulationsgoldcode, um Unterscheidung der Signale zu erlauben. Die Trägerfrequenz wird unter Benutzung eines pseudozufälligen Signals moduliert, die einzigartig für jeden GPS-Satelliten ist. Folglich können die umkreisenden GPS-Satelliten identifiziert werden, wenn die Navigationssignale demoduliert werden.

Außerdem sieht das NAVSTAR GPS zwei Modulationsmoden oder -arten für die Trägerwelle unter Benutzung von pseudozufälligen Signalen vor. In dem ersten Mode wird der Träger durch ein "C/A-Signal" moduliert und auf ihn wird als der "Grob/Acquirierungsmodus" (coarse/acquisition mode) Bezug genommen. Der Grob/Acquirierungs- oder C/A-Mode ist auch als der "Standardpositionierungsdienst" bekannt. Das C/A-Signal ist eine Goldcodesequenz, die eine Impulsrate von 1,023 MHz besitzt. Goldcodesequenzen sind in der Technik bekannt.

Ein Impuls oder Chip ist ein individueller Puls des pseudozufälligen Codes. Die Impulsrate einer pseudozufälligen Sequenz ist die Rate, mit der die Impulse in der Sequenz erzeugt werden. Folglich ist die Impulsrate gleich der Codewiederholungsrate geteilt durch die Anzahl der Glieder in dem Code. Mit Bezug auf den C/A-Mode des NAVSTAR GPS existieren dort 1023 Impulse in jeder Goldcodesequenz und die Sequenz wird einmal alle Millisekunden wiederholt. Die Benutzung der 1,023 MHz Goldcodesequenz von vier umkreisenden GPS-Satelliten ermöglicht die irdische Position eines Erdempfängers mit einer ungefähren Genauigkeit von innerhalb 60 bis 100 Metern zu bestimmen (mit 95% Sicherheit).

Auf den zweiten Modulationsmode in dem NAVSTAR GPS wird allgemein Bezug genommen als der "präzise" oder "geschützte" (P für "precise" oder "protected") Mode. In dem P-Mode hat der pseudozufällige Code eine Impulsrate von 10,23 MHz. Außerdem sind die P-Modesequenzen extrem lang, so daß sich die Sequenzen nicht mehr als einmal alle 267 Tage wiederholen. Im Ergebnis kann die irdische Position eines beliebigen Erdempfängers innerhalb einer ungefähren Genauigkeit von 16 Metern (sphärischer Fehler wahrscheinlich) bestimmt werden. Der P-Mode ist auch als der "präzise Positionierungsdienst" bekannt.

Die P-Modesequenzen werden von der Regierung der Vereinigten Staaten geheim gehalten und werden nicht öffentlich zugänglich gemacht. Der P-Mode ist nur für den Gebrauch von Erdempfängern vorgesehen, die speziell von der Regierung der Vereinigten Staaten autorisiert wurden. So sind die P-mode modulierten Daten nicht allgemein zugänglich, so daß viele GPS-Benutzer sich alleine auf die GPS-Daten verlassen müssen, die durch den C/A-Modulationsmode geliefert werden. Dies bedeutet für die meisten Benutzer ein weniger genaues Positionierungssystem.

Die oben diskutierten Uhren- und atmosphärischen Fehler kommen zu der Ungenauigkeit des Positionierungssystems hinzu. Andere Fehler, die die GPS-Positionsrechnungen beeinflussen, schließen Empfängerrauschen, Signalreflexion, Abschattungseffekte und Satellitenpfadverschiebungen (d. h. Satellitenwackeln) ein. Diese Fehler haben die Berechnung von falschen Pseudoabständen und falschen oder inkorrekten Satellitenpositionen zur Folge. Inkorrekte Pseudoabstände und inkorrekte Satellitenpositionen führen ihrerseits zu einer Verringerung in der Präzision der Positionsabschätzungen, die von einem Fahrzeugpositionierungssystem berechnet werden. Ein differentielles oder Differentialsystem wird viele dieser Fehler kompensieren. Jedoch wird eine Restungenauigkeit noch vorhanden sein.

Es ist wünschenswert, eine Fahrzeugposition mit einer Genauigkeit von innerhalb 1 Meter zu berechnen. Jedoch war diese Genauigkeit nicht mit konventionellen Systemen (unter Benutzung des C/A-Codes) möglich wegen (teilweise) der Rauschschwelle von verfügbaren Empfängern. Die vorliegende Erfindung sucht diese Begrenzung zu überwinden und ein Navigationssystem zur Verfügung zu stellen mit größerer Positionierungsgenauigkeit.

Zusammenfassung der Erfindung

Die Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung, um die Genauigkeit von Positionsabschätzungen in einem satellitengestützten Fahrzeugnavigationssystem zu verbessern. In einem ersten Ausführungsbeispiel werden eine Vielzahl von Empfängern dazu vorgesehen, die Navigationssignale von jedem Satelliten zu empfangen. Auf Grundlage der Navigationssignale berechnet jeder Empfänger einen Pseudoabstand zu jedem Satelliten. Für jeden Satelliten werden die Pseudoabstände von der Vielzahl von Empfängern dazu benutzt, einen optimalen Pseudoabstand zu produzieren. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der optimale Pseudoabstand ein Mittel der Pseudoabstände von der Vielzahl der Empfänger. Der optimale Pseudoabstand wird dazu benutzt, die Positionsabschätzung für das Fahrzeug zu berechnen.

Die Berechnung eines optimalen Pseudoabstands auf diese Weise hat eine Verringerung des Empfängerrauschens zur Folge, das dazu neigt, die Fahrzeugpositionsrechnungen zu verfälschen. Je größer die Anzahl der Empfänger, die benutzt werden, um einen optimalen Pseudoabstand zu produzieren, desto größer ist die Verringerung des Empfängerrauschens.

Das Verfahren der Erfindung, um eine Fahrzeugpositionsabschätzung zu berechnen, indem man ein satellitengestütztes Navigationssystem benutzt, schließt die folgenden Schritte ein:

- 1) Empfangen von Satellitennavigationssignalen von einer Vielzahl von Satelliten an einer Vielzahl von Empfängern;
- 2) Berechnen für jeden Empfänger eines Pseudoabstands zwischen dem Empfänger und jedem Satelliten aus den Navigationssignalen;
- 3) Berechnen für jeden Satelliten eines optimalen Pseudoabstands durch Mitteln der Pseudoabstände von

jedem Empfänger;

4) Berechnen einer Satellitenposition für jeden Satelliten; und

5) Berechnen der Fahrzeugposition unter Benutzung der Satellitenpositionen und den optimalen Pseudoabständen für jeden Satelliten.

Ein Vorteil der Erfindung ist, daß Positionsfehler, die durch Antennenrauschen, Empfängerrauschen und andere zufällige Verfälschungen, die Null als Mittelwert besitzen (die an dem vorderen Ende des Navigationssystems eingeführt werden) reduziert werden.

Ein zusätzlicher Vorteil der Erfindung ist, daß Positionsfehler, die durch lokalisierte Reflexionen verursacht werden, reduziert werden können.

In einem alternativen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein einzelner Empfänger in Verbindung mit einer Vielzahl von Antennen benutzt. Jede Antenne empfängt Navigationssignale von den Satelliten. Der Empfänger führt die Pseudoabstandsberechnungen für jede Antenne in einer zeitgeschalteten oder zeitmultiplexen Art und Weise aus. Ein Mittelungsschaltkreis berechnet einen durchschnittlichen Pseudoabstand für jeden Satelliten. Dieses Ausführungsbeispiel hat eine Verringerung von Antennenrauschen und anderer Rauschquellen zur Folge, wird aber nicht das Empfängerrauschen verringern.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist ein Diagramm, das die NAVSTAR GPS-Satelliten in ihren jeweiligen Orbits um die Erde zeigt;

Fig. 2 ist ein Diagramm, das ein autonomes Fahrzeugsystem darstellt, das eine Konstellation von vier GPS-Satelliten, ein Pseudolite, eine Basisstation und ein autonomes Fahrzeug einschließt;

Fig. 3 ist ein Blockdiagramm des autonomen Fahrzeugsystems, das das Fahrzeugpositionierungssystem des autonomen Fahrzeugs im Detail darstellt;

Fig. 4 ist ein Blockdiagramm eines GPS-Verarbeitungssystems;

Fig. 5 ist ein Diagramm, das die geometrische Beziehung zwischen dem Erdmittelpunkt, einem Fahrzeug in der Nähe der Erdoberfläche und einer Konstellation von GPS-Satelliten zeigt;

Fig. 6A ist ein Blockdiagramm des GPS-Verarbeitungssystems der Erfindung;

Fig. 6B ist ein Flußdiagramm, das den Betrieb der vorliegenden Erfindung darstellt;

Fig. 7 ist ein Blockdiagramm eines alternativen Ausführungsbeispiels des GPS-Verarbeitungssystems der Erfindung; und

Fig. 8 ist ein Diagramm, das die strategische Platzierung einer Vielzahl von Antennen auf dem Fahrzeug darstellt.

Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

Die vorliegende Erfindung wird jetzt mit Bezug auf die Figuren beschrieben, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente/Schritte bezeichnen.

Die Erfindung ist ein Verfahren und eine Vorrichtung, um die Genauigkeit von Fahrzeugpositionsabschätzungen in einem satellitengestützten Navigationssystem zu verbessern. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das NAVSTAR globale Positionierungssystem (GPS) benutzt. Wie oben diskutiert wurde und in Fig. 1 dargestellt ist, schließt das NAVSTAR GPS einundzwanzig betriebsbereite Satelliten 102 ein, die die Erde in sechs Orbits 104 umkreisen.

Die Erfindung wird in der Umgebung eines autonomen Fahrzeugsystems 200 beschrieben, wie in Fig. 2 gezeigt ist. Eine repräsentative GPS-Konstellation 202 schließt vier GPS-Satelliten 102(a)–102(d) ein, um GPS-Daten zu übertragen. Ein Fahrzeug (zum Beispiel ein autonomer Lastwagen) 210 und eine Basisstation 220 sind geeignet, GPS-Daten/Navigationssignale von jedem GPS-Satelliten 102 in der Konstellation unter Benutzung der jeweiligen GPS-Antennen 212 und 222 zu empfangen.

Ein GPS-Empfänger kann GPS-Navigationssignale von einem Satelliten empfangen, der sich "im Blick" des Empfängers (Sichtlinienkommunikation) befindet. Zum Beispiel "im Blick" kann definiert werden als irgendein Satellit, der sich mindestens 100 über dem Horizont befindet. Der 100 Winkel sorgt für eine Pufferzone zwischen einem im Blick befindlichen Satelliten und einem Satelliten, der gerade aus dem Blickfeld unter dem Horizont verschwindet.

Eine "Konstellation" ist eine Gruppe von Satelliten, die aus den Satelliten "im Blick" eines GPS-Empfängers ausgewählt werden. Zum Beispiel können vier Satelliten aus einer Gruppe von sechs ausgewählt werden, die sich im Blick von einem GPS-Empfänger befinden. Die vier Satelliten werden normalerweise auf Grund einer günstigen Geometrie für die Triangulierung (wie unten diskutiert wird) ausgewählt.

Die Basisstation 220 schließt einen GPS-Empfänger (d. h. einen Bezugsempfänger), der sich an einer bekannten festen Position befindet, ein. Die Basisstation 220 steht mit dem Fahrzeug 210 über den Kommunikationskanal 225 in Verbindung.

Der Kommunikationskanal 225 repräsentiert die Kommunikationsverbindung zwischen der Basisstation 220 und dem Fahrzeug 210. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der Kommunikationskanal 225 Radio-sendeempfänger auf. Der Kommunikationskanal 225 wird dazu benutzt, Daten zwischen der Basisstation 220 und dem Fahrzeug 210 zu übertragen.

Das System 200 kann wahlweise eines oder mehrere Pseudolites 230 einschließen. Ein "Pseudolite" ist ein Übertragungssystem, das sich auf oder in der Nähe der Erdoberfläche befindet, das einen GPS-Satelliten nachahmt. Weil ein Pseudolite eine feste, bekannte Position besitzt, kann es in großem Maß die Positionsabschätzung, die vom GPS abgeleitet wurde, verbessern. Um die Diskussion hier zu vereinfachen, wird nur auf die

GPS-Satelliten 102 bezogen. Es sollte jedoch verstanden werden, daß Positionsdaten von einem Satelliten erforderlich sind, sie durch die Daten eines Pseudolites ersetzt werden können.

Fig. 3 zeigt ein auf einem hohen Niveau stehendes Blockdiagramm des Systems 200 der Erfindung, das GPS-Satelliten 102, ein Fahrzeug 210, eine Basisstation 220 und Pseudolites 230 einschließt. Das Fahrzeug 210 schließt ein Fahrzeugpositionierungssystem (VPS) 310 und ein Navigationssystem 320 ein.

Das Fahrzeugpositionierungssystem (VPS) 310

Die Aufgabe, das Fahrzeug 210 entlang eines vorgeschriebenen Pfades zu führen, macht unter anderem eine genaue Positionsabschätzung der aktuellen Position des Fahrzeugs in Bezug auf einen Referenzpunkt erforderlich. Ist einmal die aktuelle Position bekannt, kann das Fahrzeug 210 zu seiner nächsten Bestimmung voranzuschreiten befohlen werden. Das VPS 310 erlaubt, daß Positionsabschätzungen des Fahrzeugs 210 mit extremer Genauigkeit bestimmt werden.

Das VPS 310 schließt ein GPS-Verarbeitungssystem 312 und ein Bewegungspositionierungssystem (MPS) 314 ein. Das GPS-Verarbeitungssystem 312 empfängt GPS-Daten, d. h. Navigationssignale von GPS-Satelliten 102 und berechnet eine erste Positionsabschätzung (FPE) für das Fahrzeug 210 daraus. Das MPS 314 schließt einen Fahrzeugkilometerzähler 316 und eine Trägheitsreferenzeinheit (IRU) 318 ein, die die Position des Fahrzeugs zu verfolgen auf Grundlage von Veränderungen einer anfangs bekannten Position. Das MPS 314 produziert (die tatsächlichen Berechnungen werden im VPS-Verarbeitungssystem 324 gemacht), eine zweite Positionsabschätzung für das Fahrzeug 210. Die erste Positionsabschätzung und die zweite Positionsabschätzung werden unabhängig voneinander abgeleitet.

Die erste Positionsabschätzung (vom GPS) kann als eine unabhängige Anzeige der Position des Fahrzeugs 210 benutzt werden. Ähnlich kann die zweite Positionsabschätzung (vom MPS) als eine unabhängige Anzeige der Position des Fahrzeugs 210 benutzt werden. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel jedoch werden die erste und zweite Positionsabschätzungen durch ein VPS-Verarbeitungssystem 324 kombiniert (wie unten diskutiert wird), um eine genauere dritte oder beste Positionsabschätzung zu produzieren.

Das Navigationssystem 320

Das Navigationssystem 320 empfängt die dritte Positionsabschätzung vom VPS 314. Das Navigationssystem 320 benutzt diese präzise, dritte Positionsabschätzung, um das Fahrzeug 210 genau zu navigieren.

Das GPS-Verarbeitungssystem 312

Das GPS-Verarbeitungssystem 312 ist das Herz des Systems 200. In Bezug auf Fig. 4 schließt das GPS-Verarbeitungssystem 312 ein Empfängersystem 400 und einen GPS-Prozessor 408 ein. Das Empfängersystem 400 empfängt und decodiert die Navigationssignale von dem Satelliten. Der GPS-Prozessor 408 benutzt dann die Information des Empfängersystems 400, um eine erste Positionsabschätzung zu berechnen.

Das Empfängersystem 400 schließt eine GPS-Antenne 402, einen Vorverstärker 404, und einen GPS-Empfänger 406 ein. Die Antenne 402 ist geeignet, um elektromagnetische Strahlung in dem Radiobereich des Spektrums zu empfangen. Der Vorverstärker 404 verstärkt ein GPS-Navigationssignal, das von der GPS-Antenne 402 von einem ausgewählten GPS-Satelliten empfangen wurde. Der GPS-Empfänger 406 ist ein Vielkanalempfänger, der die GPS-Navigationssignale decodiert und einen Pseudoabstand und eine Satellitenposition für jeden ausgewählten Satelliten produziert. Der GPS-Prozessor 408 benutzt die Pseudoabstände und die Satellitenposition für eine Vielzahl von Satelliten, um die erste Positionsabschätzung für das Fahrzeug 210 zu berechnen.

In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die Antenne 402 und der Vorverstärker 404 in einer einzigen Einheit integriert. Die kombinierte Antenne/Vorverstärker 402/404 und der Empfänger 406 sind zusammen unter der Artikel-Nr. MX4200 erhältlich von Magnavox Advanced Products and Systems Co., Torrance, Kalifornien. Der GPS-Prozessor 408 schließt einen MC68020 Mikroprozessor ein, der von Motorola, Inc., von Schaumburg, Illinois, erhältlich ist.

Der Empfänger 406 berechnet einen Pseudoabstand für jeden Satelliten wie folgt wie oben beschrieben, wird jedes Signal, das von einem GPS-Satelliten gesendet wurde, ständig mit der exakten Zeit, zu dem das Signal gesendet wurde, codiert. Indem man die Zeit, an dem das Signal an dem Empfänger 406 empfangen wurde, notiert, kann eine Ausbreitungszeitverzögerung berechnet werden. Diese Zeitverzögerung, wenn sie mit der Geschwindigkeit der Signalausbreitung ($2,9979245998 \times 10^8$ m/s) multipliziert wird, wird den Pseudoabstand von dem sendenden Satelliten zum Empfänger ergeben. Wie oben diskutiert wurde, wird der Abstand ein "Pseudoabstand" genannt, weil die Empfängeruhr nicht mit der GPS-Zeit präzise synchronisiert ist (was einen Uhrenfehler verursacht) und weil die Ausbreitung durch die verschiedenen Schichten der Atmosphäre die Geschwindigkeit der Ausbreitungssignale verändert (was einen atmosphärischen Fehler verursacht).

Der GPS-Empfänger 406 kann einen Almanach benutzen, um grob die Position eines Satelliten (zum Beispiel für Acquirierungszwecke) zu bestimmen. Für eine präzisere Bestimmung einer Satellitenposition decodiert der Empfänger das GPS-Navigationssignal und zieht daraus ephemerische Daten. Die ephemerischen Daten zeigen die präzise Position des sendenden Satelliten an.

Der GPS-Prozessor 408 berechnet die erste Positionsabschätzung unter Benutzung der Pseudoabstände und Satellitenpositionen von dem GPS-Empfänger 406. Dies ist unten beschrieben in Bezugnahme auf Fig. 5.

Fig. 5 zeigt eine beispielhafte Satellitenkonstellation 202, die die GPS-Satelliten 102(a)–102(d) besitzt im Blickfeld des Fahrzeugs 210. In kartesischen Koordinaten, in Bezug auf den Erdmittelpunkt, befindet sich der Satellit 102(a) an der Stelle (x_1, y_1, z_1); der Satellit 102(b) an der Stelle (x_2, y_2, z_2); der Satellit 102(c) an der Stelle

(x_3, y_3, z_3); der Satellit 102 befindet sich an der Stelle (x_4, y_4, z_4); und das Fahrzeug 210 befindet sich an der Stelle (U_x, U_y, U_z).

Die kartesischen (x, y, z) Koordinaten jedes Satelliten 102 werden durch den GPS-Empfänger 406 bestimmt unter Benutzung der ephemerischen Daten des Satelliten. Die Pseudoabstände (PSR_1, PSR_2, PSR_3 und PSR_4) zwischen dem Fahrzeug 210 und jedem Satelliten werden von dem GPS-Empfänger 406 unter Benutzung der Übertragungszeitverzögerungen bestimmt. Ist diese Information für mindestens vier Satelliten gegeben, kann der Ort des Fahrzeugs 210 (d. h. des Empfängers 406) bestimmt werden, indem man die folgenden vier Abstandsgleichungen benutzt:

$$(x_1 - U_x)^2 + (y_1 - U_y)^2 + (z_1 - U_z)^2 = (PSR_1 - B_{\text{clock}})^2 \quad \text{Gl. 1}$$

$$(x_2 - U_x)^2 + (y_2 - U_y)^2 + (z_2 - U_z)^2 = (PSR_2 - B_{\text{clock}})^2 \quad \text{Gl. 2}$$

$$(x_3 - U_x)^2 + (y_3 - U_y)^2 + (z_3 - U_z)^2 = (PSR_3 - B_{\text{clock}})^2 \quad \text{Gl. 3}$$

$$(x_4 - U_x)^2 + (y_4 - U_y)^2 + (z_4 - U_z)^2 = (PSR_4 - B_{\text{clock}})^2 \quad \text{Gl. 4}$$

$B_{\text{clock}} = B_{\text{Uhr}}$

wobei: $B_{\text{Uhr}} = \text{Uhrenfehler}$.

Der "Uhrenfehler" ist ein Korrektionsfaktor nullter Ordnung, mit dem man versucht, den oben diskutierten Uhrenfehler zu kompensieren.

Man beachte, daß es in dieser Gleichung vier Unbekannte gibt: U_x, U_y, U_z und B_{Uhr} . Man beachte ebenfalls, daß jeder Satellit eine Gleichung produziert. So haben wir vier Satelliten und vier Unbekannte, was erlaubt, daß die Gleichungen nach dem Uhrenfehler (B_{Uhr}) und der Position (U_x, U_y, U_z) des Fahrzeugs 210 aufgelöst werden.

Wenn der Uhrenfehler (B_{Uhr}) eliminiert wird, dann bleiben nur drei Variable in der Gleichung, so daß nur drei Satelliten nötig sind, um nach der Position des Fahrzeugs 210 aufzulösen. Der Uhrenfehler kann eliminiert werden, wenn eine hohe Präzisionsuhr (zum Beispiel eine Atomuhr) in dem Empfängersystem 400 benutzt wird.

Falls der Breitengrad (L) und der Längengrad (y) des Fahrzeugs gewünscht werden, können sie unter Benutzung der folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$\text{Breitengrad} \approx \cos^{-1} \sqrt{\frac{U_x^2 + U_y^2}{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}} \quad \text{Gl. 5}$$

$$\text{Längengrad} = \tan^{-1} \frac{U_y}{U_x} \quad \text{Gl. 6}$$

Man beachte, daß diese Breitengradgleichung einen ungefähren Breitengrad liefert. Die Bestimmung eines genaueren Breitengrades erfordert, daß ein komplexer iterativer Prozeß benutzt wird.

Das GPS-Verarbeitungssystem 312 und Kalmanfiltern

Von der Perspektive eines Benutzers ist das GPS-Verarbeitungssystem 312 der wichtigste Teil des autonomen Fahrzeugsystems 200. Das GPS-Verarbeitungssystem 312 ist für den Empfang der Signale von jedem GPS-Satelliten, für die Auswahl der optimalen Satelliten für die Verarbeitung, für die Bestimmung einer präzisen Position jedes ausgewählten Satelliten, für die Bestimmung des Pseudoabstands zu jedem Satelliten und schließlich für die Abschätzung der Position des Empfängers auf der Grundlage der Satellitenposition und der Pseudoabstände verantwortlich. Dies alles muß unter Benutzung der empfangenen Daten (mit stark abgeschwächten Amplituden) gemacht werden, die sehr oft schwer mit Rauschen verfälscht sind (einschließlich Rauschens, das durch die Atmosphäre produziert wurde, den Vorverstärker und den Empfänger). Das GPS-Verarbeitungssystem 312 verläßt sich in hohem Maß auf Kalmanfiltern, um das Rauschen von dem GPS-Navigationssignal zu eliminieren. Das Kalmanfiltern wird in dem GPS-Prozessor 408 durchgeführt.

Der Kalmanfilter ist ein rekursiver Algorithmus nach der Methode der kleinsten Quadrate, der normalerweise mittels Software oder Firmware auf einem digitalen Computer (Prozessor 408) implementiert ist. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel nimmt der Kalmanfilter an, daß die verrauschten Signale eher diskreter als kontinuierlicher Natur sind. Sowohl die Daten als auch das Rauschen werden in Vektorform modelliert, und die Daten werden rekursiv verarbeitet.

Ein Kalmanfilter leistet zwei Funktionen. Zuerst extrapoliert er eine Datenabschätzung von vorherigen Daten. Zweitens bringt er die extrapolierten Daten auf den neuesten Stand erneuert sie und verfeinert sie auf Grundlage der aktuellen Daten. Zum Beispiel, wenn eine Fahrzeugposition p_1 und Geschwindigkeit v_1 zum Zeitpunkt t_1 bekannt sind, dann wird der Filter (indem man den Extrapolationsschritt ausführt) p_1 und v_1 dazu benutzen, um eine Position p_2 zu einem Zeitpunkt t_2 abzuschätzen. Danach (indem man den Erneuerungsschritt ausführt) werden neu erlangte Daten zur Zeit t_2 dazu benutzt, die Positionsabschätzung p_2 zu verbessern. Von Daten, die in dem Kalmanfilter eingespeist werden, um entweder die Extrapolations- oder die Erneuerungs/Ver-

besserungsschritte zu unterstützen, sagt man, daß sie den Filter "einschränken".

Kalmanfiltern ist in der Technik wohlbekannt. Für eine detailliertere Diskussion über Kalmanfiltern siehe Brown, R.G., "Kalman Filtering: A Guided Tour", Iowa State University; und Kao, Min H. und Eller, Donald H., "Multiconfiguration Kalman Filter Design for High-Performance GPS Navigation," IEEE Transactions on Automatic Control, Band AC-28, Nr. 3, März 1983, von denen die relevanten Lehren hier durch die Bezugnahme aufgenommen sind.

Weil der Kalmanfilter ein linearer Filter ist, werden gewöhnlich die oben fortgesetzten Abstandsgleichungen nicht direkt gelöst, sondern zuerst linearisiert, d. h. die Gleichungen werden abgeleitet und die Ableitung jeder Gleichung wird gelöst, um eine Veränderung von einer zuletzt bekannten Position zu berechnen. Zum Beispiel kann eine erste Positionsabschätzung zur Zeit t_1 schnell von dem GPS-Prozessor 410 durch Ableiten der Navigationsgleichungen und Auflösen nach einer Positionsveränderung ($\Delta U_x, \Delta U_y, \Delta U_z$) von einer zuletzt bekannten Fahrzeugposition $(U_x, U_y, U_z)_{t_1-1}$ zum Zeitpunkt t_{1-1} aufgelöst werden. Dies vereinfacht in großem Maß die Lösung der Abstandsgleichungen.

Als eine Alternative zu Kalmanfiltern kann eine Abschätzung nach der Methode der kleinsten Quadrate oder der am besten passende Polynomialfit benutzt werden.

Die Basisstation 220

GPS-Daten von der Konstellation 202 der GPS-Satelliten 102 werden ebenfalls von der Basisstation 220 empfangen. Die Basisstation 220 umfaßt ein externes oder (Host-) Verarbeitungssystem 328. Das externe Verarbeitungssystem 328 ist ähnlich dem GPS-Verarbeitungssystem 312 des Fahrzeugs 210 darin, daß es einen GPS-Empfänger (zum Beispiel ein Magnavox-Modell MX4818) besitzt, um die Position der Basisstation in Bezug auf den Erdmittelpunkt zu bestimmen. Die Basisstation wird dazu benutzt, um ein "differentielles GPS-System" zu realisieren.

In einem differentiellen GPS-System wird eine von dem GPS-berechnete Position der Basisstation dazu benutzt, in Verbindung mit der bekannten Position der Basisstation, um Fehler zu berechnen. Indem man einen Fehler oder Korrekturfaktor für jeden Pseudoabstand produziert, kann die Basisstation Fehler quantifizieren und korrigieren, die in der ersten Positionsabschätzung vorhanden sind.

Die Basisstation kann Fehler auf verschiedene Arten berechnen. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird der mit dem GPS berechnete Pseudoabstand von jedem Satelliten mit einer berechneten Distanz (d) zwischen dem Satelliten und der bekannten Position der Basisstation 220 verglichen. Der Unterschied ist eine "differentielle Abweichung", der von atmosphärischen und anderen Fehlern, wie oben diskutiert wurde, verursacht wird. Die Basisstation berechnet eine Abweichung für jeden Satelliten, die in den Positionsrechnungen benutzt wird. Diese Abweichungen, wenn sie dem Fahrzeug über dem Kommunikationskanal 225 mitgeteilt werden, können dazu benutzt werden, die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung zu verbessern.

Die Distanz (d) zwischen dem Satelliten zu einer Position (x, y, z) und einer Basisstation an einer Position (B_x, B_y, B_z) wird berechnet unter Benutzung der Standardabstandsgleichung:

$$(x - B_x)^2 + (y - B_y)^2 + (z - B_z)^2 = d^2 \quad \text{Gl. 7.}$$

Die Position (x, y, z) des Satelliten wird aus den ephemerischen Daten des Satelliten berechnet.

Das differentielle GPS-System nimmt an, daß sich das Fahrzeug 210 relativ nahe zur Basisstation 220 befindet, zum Beispiel innerhalb von 40 km, so daß die atmosphärischen Fehler, die an der Basisstation 220 vorhanden sind, ungefähr die gleichen wie die atmosphärischen Fehler am Fahrzeug 210 sind. Dies erlaubt dem Fahrzeug, die erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs zu verbessern, d. h. die Genauigkeit zu erhöhen, auf Grundlage der Information, die an der Basisstation erzeugt wurde.

Das Bewegungspositionierungssystem (MPS) 314

Wie oben diskutiert wurde, schließt das MPS 314 einen Fahrzeugkilometerzähler 316 und eine Trägheitsreferenzeinheit (IRU) 318 ein, die die Position des Fahrzeugs auf Grundlage von Veränderungen von einer anfangs bekannten Position verfolgen. Der Fahrzeugkilometerzähler 316 produziert Daten über die Distanz, die von dem Fahrzeug 210 zurückgelegt wurde. Die IRU 318 weist Lasergyroskop(e) 320 und Beschleunigungsmesser 322 auf, die benutzt werden können, um Daten über die Position, Geschwindigkeit, Drehung, Neigung und Gierung zu produzieren. Das MPS 314 liefert die IRU-Daten und die Kilometerzählerdaten an das VPS-Verarbeitungssystem 324. Ein MPS-Interkommunikationsprozessor 326 steuert das Format der MPS-Daten, die dem VPS-Verarbeitungssystem 324 geliefert werden. Aus diesen Daten produziert das VPS-Verarbeitungssystem 324 eine zweite Positionsabschätzung für das Fahrzeug 210.

Das VPS-Verarbeitungssystem 324

Wie oben erwähnt wurde, kann die erste Positionsabschätzung (FPE) des GPS als unabhängige Anzeige der Position des Fahrzeugs 210 benutzt werden. Ähnlich kann die zweite Positionsabschätzung (SPE), die aus den MPS-Daten berechnet wurde, als eine unabhängige Anzeige der Position des Fahrzeugs 210 benutzt werden. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel jedoch werden die erste und zweite Positionsabschätzungen von einem VPS-Verarbeitungssystem 324 kombiniert, um eine genauere dritte oder beste Positionsabschätzung (BPE) zu produzieren. Um dies zu erreichen, verläßt sich das VPS-Verarbeitungssystem auf Kalmanfiltern und auf gewichtetes Mitteln, um die Daten des GPS-Verarbeitungssystems 312 mit den Daten des MPS 314 optimal zu

kombinieren.

Während die beste Positionsabschätzung eine ziemlich genaue Abschätzung der Fahrzeugposition darstellt, ist sie nicht perfekt. Wie oben diskutiert wurde, schließt die erste Positionsabschätzung (die die Schlüsseldaten darstellt, die bei der Bestimmung der Position eines Fahrzeugs einbezogen sind) nicht-lineare Fehler ein, die durch das differentielle System nicht korrigiert werden. Ein Hauptbeitrag dieser nicht-linearen Fehler ist das Empfängergerauschen.

"Empfängergerauschen" ist das Rauschen (die Verzerrung), die in das FPE durch das Empfängersystem 400, d. h. die Antenne 402, den Vorverstärker 404 und den Empfänger 406 eingeführt wurde. Dieses Rauschen ist zufälliges elektrisches Rauschen, das Null als Mittelwert besitzt. Das Rauschen verringert die Genauigkeit des Systems, indem es die Berechnungen der Pseudoabstände verfälscht.

Der größte Teil des Empfängergerauschens wird von der Antenne 402 beigetragen. Das Antennenrauschen schließt lokalisierte Effekte, wie zum Beispiel Reflexionen, ein. Vorverstärker mit niedrigem Rauschen und Empfänger sind verfügbar, um das Rauschen dieser Komponenten zu verringern, aber es ist schwierig, das Antennenrauschen zu eliminieren. Die vorliegende Erfindung jedoch reduziert wesentlich die Effekte des Rauschens all dieser Quellen.

Weil das Empfängergerauschen zufällig ist mit Null als Mittelwert, haben die Erfinder entdeckt, daß seine Größe reduziert werden kann, indem man die GPS-Navigationssignale von einer Vielzahl von Empfängersystemen mittelt. Je größer die Anzahl der benutzten Empfängersysteme, desto größer wird die Verringerung des Rauschens sein. Zum Beispiel eine unendliche Anzahl von Empfängersystemen würde theoretisch die vollständige Eliminierung von Empfängergerauschen zur Folge haben. Für eine detaillierte Erklärung der Theorie, auf der die Erfindung beruht, siehe Arthur Gelb, et al. (technische Angestellte der Analytic Sciences Corporation, Reading, Massachusetts), Applied Optimal Estimation, MIT Press, 1986, Seiten 5-6, das hier durch Bezugnahme aufgenommen wurde.

Unter "Mitteln" kann man sowohl normales Mitteln (d. h. einen Mittelwert finden) als auch "gewichtetes Mitteln" verstehen, wobei verschiedene Gewichte den Datensignalen, die gemittelt werden, gegeben werden. Ein Beispiel einer Situation, in der es vorteilhaft wäre, die Daten von einem Empfänger mehr als die Daten von einem anderen zu gewichten, wäre, wenn der erste Empfänger inhärent weniger verrauscht als ein zweiter Empfänger (z. B. der erste Empfänger hat eine genauere Uhr) wäre. Ein anderes Beispiel wäre, wenn eine Antenne in einer Position plazierte wäre, die weniger wahrscheinlich auf Interferenzen trifft (zum Beispiel Abschattungseffekte und Reflexion) als eine andere Antenne.

Die vorliegende Erfindung sieht ein GPS-Verarbeitungssystem 600 vor, das eine Vielzahl von Empfängersystemen 400 einschließt. Das ist in Fig. 6A dargestellt. Das GPS-Verarbeitungssystem 600 ersetzt das GPS-Verarbeitungssystem 312. Das GPS-Verarbeitungssystem 600 schließt ein erstes Empfängersystem 400A, ein zweites Empfängersystem 400B, einen Signalmittler 602 und einen GPS-Prozessor 408 ein. Jedes Empfängersystem 400 und GPS-Prozessor 408 sind identisch mit dem des GPS-Verarbeitungssystem 312.

Der Signalmittler 602 empfängt einen Pseudoabstand von jedem Empfängersystem 400 und berechnet einen optimalen Pseudoabstand für jeden Satelliten. Die optimalen Pseudoabstände und Satellitenpositionen von einer Vielzahl von Satelliten werden dann einem GPS-Prozessor 408 geliefert, zur Berechnung eines FPE für das Fahrzeug 210. Der Signalmittler 602 kann ein integraler Teil des GPS-Prozessors 408 sein. Das heißt, die Funktion, den optimalen Wert der Pseudoabstände von dem Empfängersystem 400 zu berechnen, kann von dem Prozessor 408 ausgeführt werden.

Der Betrieb des GPS-Verarbeitungssystems 600 ist in Fig. 6B dargestellt. In einem Schritt 610 werden Navigationssignale von jedem Satelliten in der Konstellation bei einem ersten Empfängersystem 400A empfangen. In einem Schritt 612 werden diese Navigationssignale benutzt, einen Pseudoabstand und eine Satellitenposition für jeden Satelliten zu berechnen. Gleichzeitig mit den Schritten 610, 612, die in einem ersten Empfängersystem 400A ausgeführt werden, werden identische Schritte einem zweiten Empfängersystem 400B durchgeführt. Das heißt, die Navigationssignale werden von jedem Satelliten in der Konstellation von einem zweiten Empfängersystem 400B in einem Schritt 614 empfangen. Diese Navigationssignale werden benutzt, um einen Pseudoabstand und eine Satellitenposition für jeden Satelliten in einem Schritt 616 zu berechnen.

In einem Schritt 618 wird ein optimaler Pseudoabstand für jeden Satelliten berechnet, indem man die korrespondierenden Pseudoabstände von dem Empfängersystem 400A, 400B mittelt. Eine Position für jeden Satelliten wird in einem Schritt 620 berechnet. Schließlich in einem Schritt 622 wird eine präzise Fahrzeugposition berechnet, indem man die optimalen Pseudoabstände und Satellitenpositionen aus den Schritten 618, 620 benutzt.

Das GPS-Verarbeitungssystem 600 ist gezeigt mit zwei Empfängersystemen 400 zu Zwecken der Illustration. Jedoch kann jede Anzahl von Empfängersystemen 400 benutzt werden. Wie oben festgestellt wurde, gilt, daß je mehr Empfängersysteme benutzt werden, desto größer die Verringerung im Rauschen sein wird. Natürlich muß der Wunsch, daß Rauschen zu verringern, und eine genauere FPE vorzusehen, gegen die Kosten abgewogen werden, die mit der Ausstattung zusätzlicher Empfängersysteme auf einem Fahrzeug verbunden sind.

Es wird angenommen, daß zwei Empfängersysteme, wie zum Beispiel die in Fig. 6A dargestellt sind, eine Verringerung im Empfängergerauschen von ungefähr 50% im Vergleich zu einem identischen einzelnen Empfängersystem (in dem man auch ungefähr gleiche Rauschgrößen für jeden Empfänger annimmt) ergeben.

Ein anderer Vorteil der Erfindung ist, daß der Uhrenfehler ebenfalls verringert wird. Genauso wie das Mitteln das Empfängergerauschen verringert, wird es ebenfalls den Uhrenfehler (Clockfehler) reduzieren.

Ein alternatives Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Fig. 7 dargestellt. In diesem Ausführungsbeispiel werden eine Vielzahl (drei sind für Illustrationszwecke gezeigt) von Antennen 402 dazu benutzt, mit einem einzelnen GPS-Empfänger 702. Ein Vorverstärker 404 verstärkt die Navigationssignale, die von den Antennen 402 empfangen wurden. Der GPS-Empfänger 702 berechnet eine Satellitenposition für jeden Satelliten und

einen Pseudoabstand für jede Antenne. Die Pseudoabstände von jeder Antenne werden dann zusammen gemittelt durch einen Signalmittler 704, um einen optimalen Pseudoabstand zu berechnen.

Damit der GPS-Empfänger 702 Pseudoabstände für eine Vielzahl von Antennen 402 berechnet, muß der GPS-Empfänger 702 einen Kanal für jede Antenne 402 besitzen und muß fähig sein, sehr schnell zu verarbeiten. Zusätzlich muß der Signalmittler 704 fähig sein, aufeinanderfolgende Pseudoabstände zu speichern, wie sie vom Empfänger ausgegeben werden. Ein optimaler Pseudoabstand kann nicht berechnet werden, bis ein Pseudoabstand von jeder Antenne von dem Mittler oder Mittelwertbildner 704 empfangen wird.

Dieses alternative Ausführungsbeispiel der Erfindung wird effektiv sein nur in der Reduktion von Antennenrauschen. Für eine Reduktion im Rauschen vom Vorverstärker 404 und Empfänger 702 können Niedrigrauschkomponenten verwendet werden.

Die Erfindung besitzt weiter Nutzen, um den Fehler in Pseudoabständen, die durch lokalisierte Reflexion verursacht werden, zu verringern. Weil ein reflektiertes Signal einen unbekannten Pfad zwischen dem sendenden Satelliten und dem Empfängersystem genommen hat, wird das die Berechnung eines fehlerhaften Pseudoabstands zur Folge haben. Falls die Reflexion lokalisiert ist (d. h. nicht alle Empfängersysteme betrifft) kann der Reflektor jedoch um einen Bruchteil von x reduziert werden, wobei x proportional zu der Anzahl der Antennen, die von der Reflexion betroffen sind, geteilt durch die Gesamtzahl der Antennen, die von den Mittlern 602 oder 704 benutzt werden, um einen optimalen Pseudoabstand zu berechnen.

Die Antennen 402 von jedem der oben diskutierten Ausführungsbeispiele können strategisch auf dem Fahrzeug positioniert werden. Dies wird erlauben, daß eine optimale Fahrzeugposition berechnet wird. Zum Beispiel zeigt Fig. 8 ein Fahrzeug 800, welches vier Antennen 402 oder vier Empfängersysteme 400 besitzt, die strategisch an den vier Ecken 802, 804, 806 und 808 das Fahrzeug um ein Centroid 810 plaziert sind. Indem man einen optimalen Pseudoabstand für diese vier Empfänger findet, kann die FPE genau für das Centroid 810 des Fahrzeugs berechnet werden.

Falls gewichtetes Mittel (als eher direktes Mittel) benutzt wird, um die Pseudoabstände von einer Vielzahl von Empfängern zu kombinieren, kann eine Vielzahl von Methoden benutzt werden, um die Gewichtungsfaktoren zu bestimmen. Zum Beispiel können die Gewichtungsfaktoren von einem Verhältnis des geschätzten mittleren Rauschens für die Empfänger berechnet werden. Als ein anderes Beispiel können die Gewichtungsfaktoren folgendermaßen berechnet werden. Ist eine Vielzahl von Empfängern (zum Beispiel vier) gegeben, könnte ein mittlerer Pseudoabstand von einem direkten Mittel der Pseudoabstände von jedem Empfänger berechnet werden. Die individuellen Pseudoabstände könnten dann mit dem mittleren Pseudoabstand verglichen werden; je näher ein individueller Wert dem Mittelwert ist, desto größer ist der hinzugeschriebene Gewichtungsfaktor. Um dieses Verfahren zu optimieren, sollten die Antennen strategisch auf einem Fahrzeug positioniert werden, um einen gleichzeitigen Fehler in sämtlichen Antennen zu minimieren (d. h. die Zahl der Antennen, die gleichzeitig rauschen werden wegen einer lokalen Rauschquelle, Reflexion oder Abschattungseffekten).

Eine andere Anwendung für die Erfindung ist, eine genaue Fahrtrichtung eines Fahrzeugs zu bestimmen. Eine bekannte Methode, um die Fahrtrichtung eines Fahrzeugs zu berechnen, ist die Position eines Empfängers zu einem Zeitpunkt t_1 und zu einer zweiten Zeit t_2 zu berechnen. Diese beiden Punkte definieren eine Gerade, die die Richtung, in der das Fahrzeug sich fortbewegt, anzeigt. Indem man die Position von zwei Antennen 402 oder Empfängersysteme 400, die an dem Fahrzeug befestigt sind, berechnet, kann die Fahrtrichtung des Fahrzeugs mit einer (Daten-) Aufnahme zu einer einzigen Zeit (einzige Zeittastung) bestimmt werden. Diese Methode, um die Fahrtrichtung zu bestimmen, nimmt an, daß die Empfänger relativ rauscharm sind.

Während die Erfindung besonders gezeigt und beschrieben wurde mit Bezug auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel wird von allen Fachleuten verstanden werden, daß verschiedene Veränderungen in Form und Details dabei gemacht werden können, ohne von dem Geist und Gültigkeitsbereich der Erfindung abzuweichen.

Eine Vorrichtung und ein Verfahren sind offenbart, um die Position eines Fahrzeugs auf oder in der Nähe der Erdoberfläche aus Navigationssignalen eines satellitengestützten Navigationssystems zu bestimmen. Präzise Positionsabschätzungen werden durch Reduktion des effektiven Empfängerrauschens erreicht. Eine Vielzahl von Empfängermitteln berechnen je einen Pseudoabstand für jeden Satelliten. Ein Signalsoptimierer benutzt dann die Pseudoabstände von allen Empfängermitteln, um einen optimalen Pseudoabstand für jeden Satelliten zu berechnen. Prozessormittel berechnen eine Fahrzeugposition aus den optimalen Pseudoabständen.

Bezugszeichenliste

Fig. 3:

- 102 GPS Satelliten
- 210 Fahrzeug
- 220 Basisstation
- 230 Pseudolite(s)
- 310 Fahrzeugpositionierungssystem (VPS)
- 312 GPS Verarbeitungssystem
- 314 Bewegungspositionierungssystem (MPS)
- 316 Fahrzeugkilometerzähler
- 318 Trägheitsreferenzeinheit (IRU)
- 320 Gyroskope
- 322 Beschleunigungsmesser
- 324 VPS Verarbeitungssystem
- 326 MPS Interkommunikationsprozessor
- 328 Externes oder Hostverarbeitungssystem

Fig. 4:

402 GPS Antenne
 404 Vorverstärker
 406 GPS Empfänger
 408 GPS Prozessor

Fig. 6A:

402 GPS Antenne
 404 Vorverstärker
 406 GPS Empfänger
 602 Mittelwertbilder
 408 GPS Prozessor

Fig. 6B:

610 Empfange Satellitennavigationssignale an einem ersten Empfänger
 612 Berechne einen PSR zu jedem SV unter Benutzung der Navigationssignale
 614 Empfange Satellitennavigationssignale an einem zweiten Empfänger
 616 Berechne einen PSR zu jedem SV unter Benutzung der Navigationssignale
 618 Berechne einen optimalen PSR für jeden Satelliten durch Mittelung der entsprechenden PSR's von jedem Empfänger
 620 Berechne eine Satellitenposition für jeden Satelliten unter Benutzung der Navigationssignale
 622 Berechne eine Fahrzeugpositionsabschätzung aus den optimalen Pseudoabständen und den Satellitenpositionen

Fig. 7:

404 Vorverstärker
 702 GPS Empfänger
 704 Mittelwertbilder
 408 GPS Prozessor

Patentansprüche

1. Eine Vorrichtung, um die Position eines Fahrzeugs auf oder in der Nähe der Erdoberfläche unter Benutzung von Navigationssignalen eines satellitengestützten Navigationssystems, das eine Vielzahl von Navigationssatelliten besitzt, zu bestimmen, wobei die Vorrichtung folgendes aufweist:
 - erste am Fahrzeug befestigte Mittel (402), um die Navigationssignale von der Vielzahl der Satelliten (102) zu empfangen, und um aus den Navigationssignalen einen ersten Pseudoabstand für jeden aus der Vielzahl der Satelliten (102) berechnen, wobei jeder erste Pseudoabstand die Distanz zwischen den ersten Mitteln und einem entsprechenden aus der Vielzahl der Satelliten (102) repräsentiert;
 - zweite am Fahrzeug befestigte Mittel (402), um die Navigationssignale von der Vielzahl der Satelliten zu empfangen und um einen zweiten Pseudoabstand für jeden der Vielzahl der Satelliten aus den Navigationssignalen zu berechnen, wobei jeder zweite Pseudoabstand die Distanz zwischen den zweiten Mitteln und einem entsprechenden der Vielzahl der Satelliten reduziert;
 - dritte Mittel, die an die ersten und zweiten Mittel gekuppelt oder gekoppelt sind, um die ersten und zweiten Pseudoabstände zu empfangen und um für jeden aus der Vielzahl der Satelliten einen optimalen Pseudoabstand zu berechnen;
 - vierte Mittel, die an die ersten Mittel gekuppelt oder gekoppelt sind, um eine Satellitenposition für jeden der Vielzahl der Satelliten aus den Navigationssignalen, die von den ersten Mitteln empfangen wurden, zu berechnen; und
 - fünfte Mittel, die an die dritten und vierten Mittel gekuppelt oder gekoppelt sind, um die Position des Fahrzeugs aus den Satellitenpositionen und den optimalen Pseudoabständen zu berechnen.
2. Eine Vorrichtung, um die Position eines Fahrzeugs auf oder in der Nähe der Erdoberfläche zu bestimmen unter Benutzung von Navigationssignalen eines globalen Positionierungssystems, das eine Vielzahl von erdumkreisenden Satelliten besitzt, wobei die Vorrichtung folgendes aufweist:
 - erste am Fahrzeug befestigte Mittel, um die Navigationssignale von der Vielzahl der Satelliten zu empfangen;
 - zweite am Fahrzeug befestigte Mittel, um die Navigationssignale von der Vielzahl der Satelliten zu empfangen;
 - dritte Mittel, die elektrisch mit den ersten und zweiten Mitteln verbunden sind, um eine Satellitenposition für jeden Satelliten auf Grundlage der Navigationssignale, die von den ersten und zweiten Mitteln empfangen wurden, zu berechnen, einen ersten Pseudoabstand von den Navigationssignalen, die von den ersten Mitteln empfangen wurden und einen zweiten Pseudoabstand auf Grundlage der Navigationssignale, die von den zweiten Mitteln empfangen wurden, zu berechnen;
 - vierte Mittel, die elektrisch mit den dritten Mitteln verbunden sind, um die ersten und zweiten Pseudoabstände zu empfangen und um einen optimalen Pseudoabstand für jeden Satelliten zu berechnen; und
 - fünfte Mittel, die elektrisch mit den vierten Mitteln verbunden sind, um die Position eines Fahrzeugs aus diesen Satellitenpositionen und diesen optimalen Pseudoabständen zu berechnen.
3. Ein Verfahren, um die Position eines Fahrzeugs auf oder in der Nähe der Erdoberfläche unter Benutzung von Navigationssignalen eines satellitengestützten Navigationssystems, das eine Vielzahl von Satelliten

besitzt, zu berechnen, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- a) Empfangen der Navigationssignale von jedem der Vielzahl der Satelliten an einer Vielzahl von Antennen, die mit dem Fahrzeug verbunden sind;
 - b) Berechnen aus den Navigationssignalen für jede Antenne eines Pseudoabstands für jeden Satelliten;
 - c) Berechnen eines optimalen Pseudoabstands für jeden Satelliten durch Mitteln der Pseudoabstände dieser Vielzahl von Antennen;
 - d) Berechnen der Satellitenposition für jeden der Vielzahl der Satelliten aus den Navigationssignalen; und
 - e) Berechnen der Position des Fahrzeugs aus den Satellitenpositionen und den optimalen Pseudoabständen.
4. Das Verfahren nach Anspruch 3, wobei Schritt b) des Berechnens unter Benutzung einer Vielzahl von Empfängern ausgeführt wird, wobei jeder dieser Vielzahl von Empfängern mit einer entsprechenden der Vielzahl von Antennen verbunden ist.
5. Das Verfahren nach Anspruch 3, wobei Schritt b) des Berechnens unter Benutzung eines einzigen Empfängers, der mit jedem der Vielzahl der Antennen verbunden ist, durchgeführt wird.

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

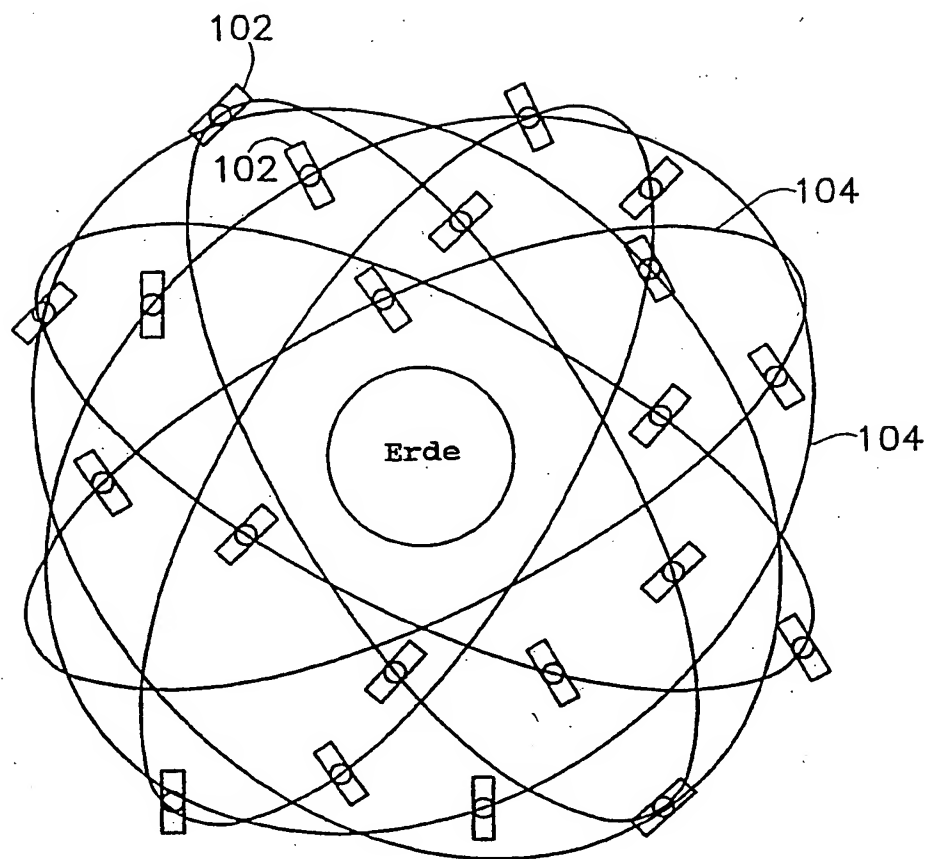


Fig. 1

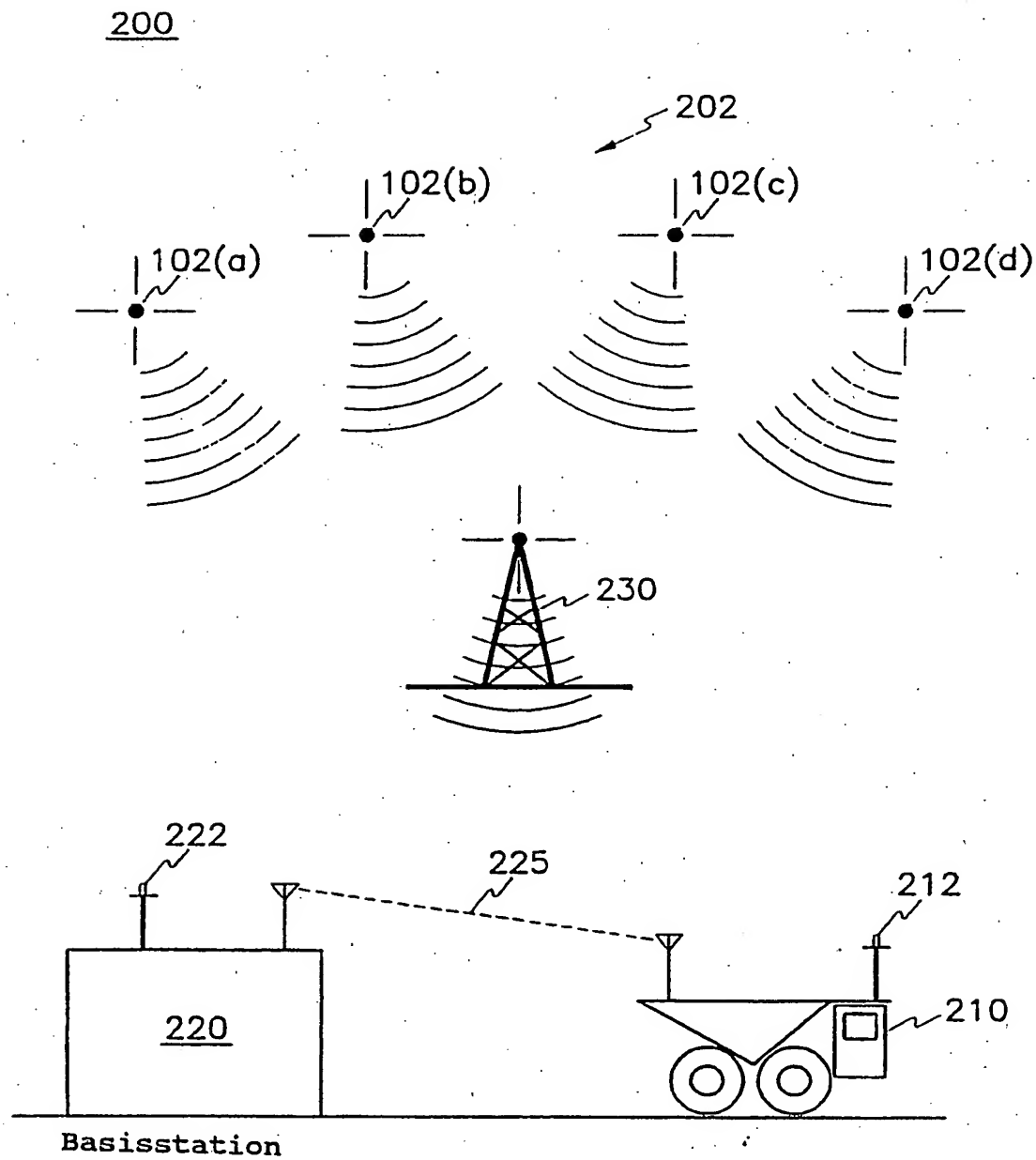


Fig. 2

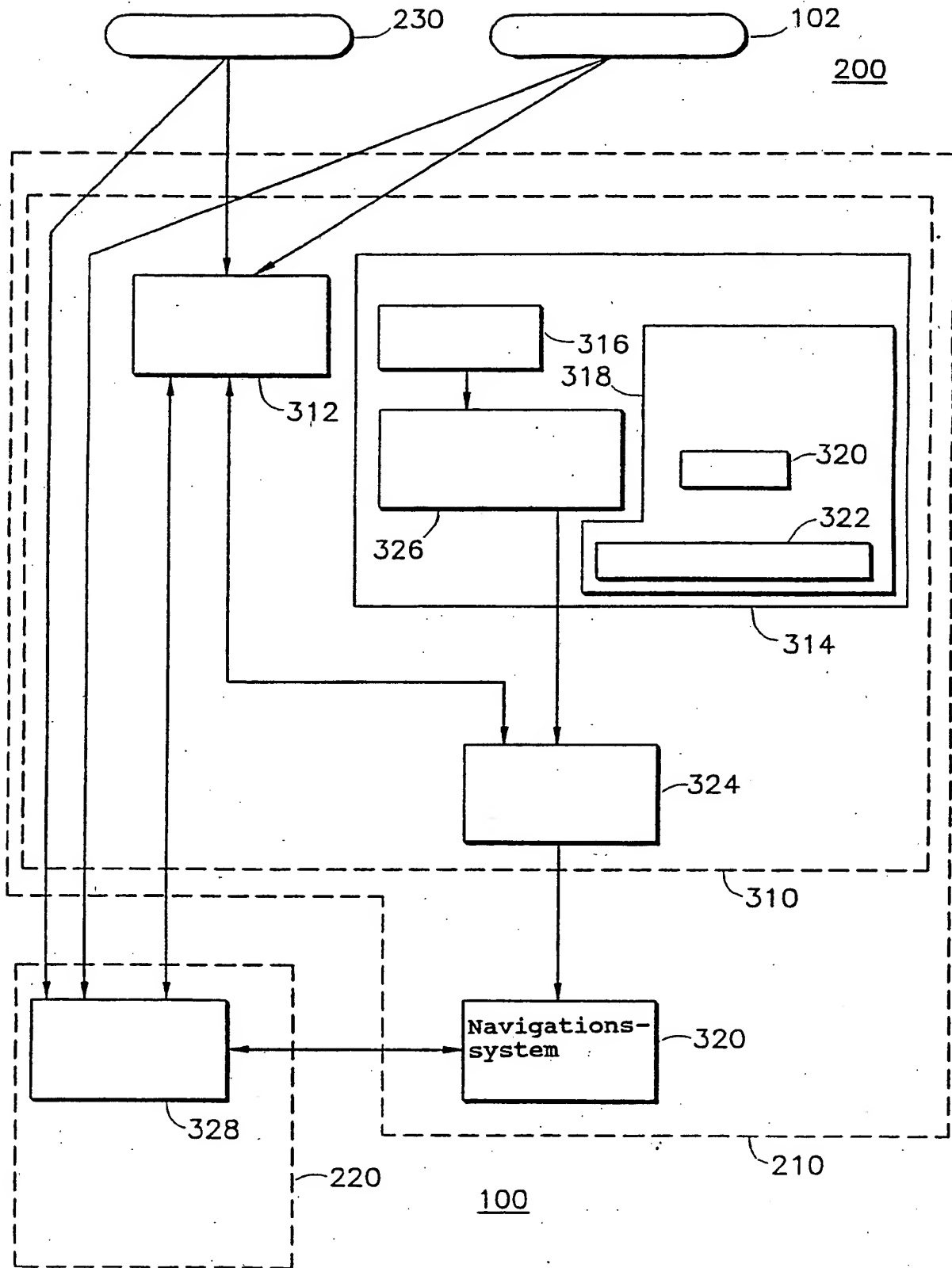


Fig. 3

312

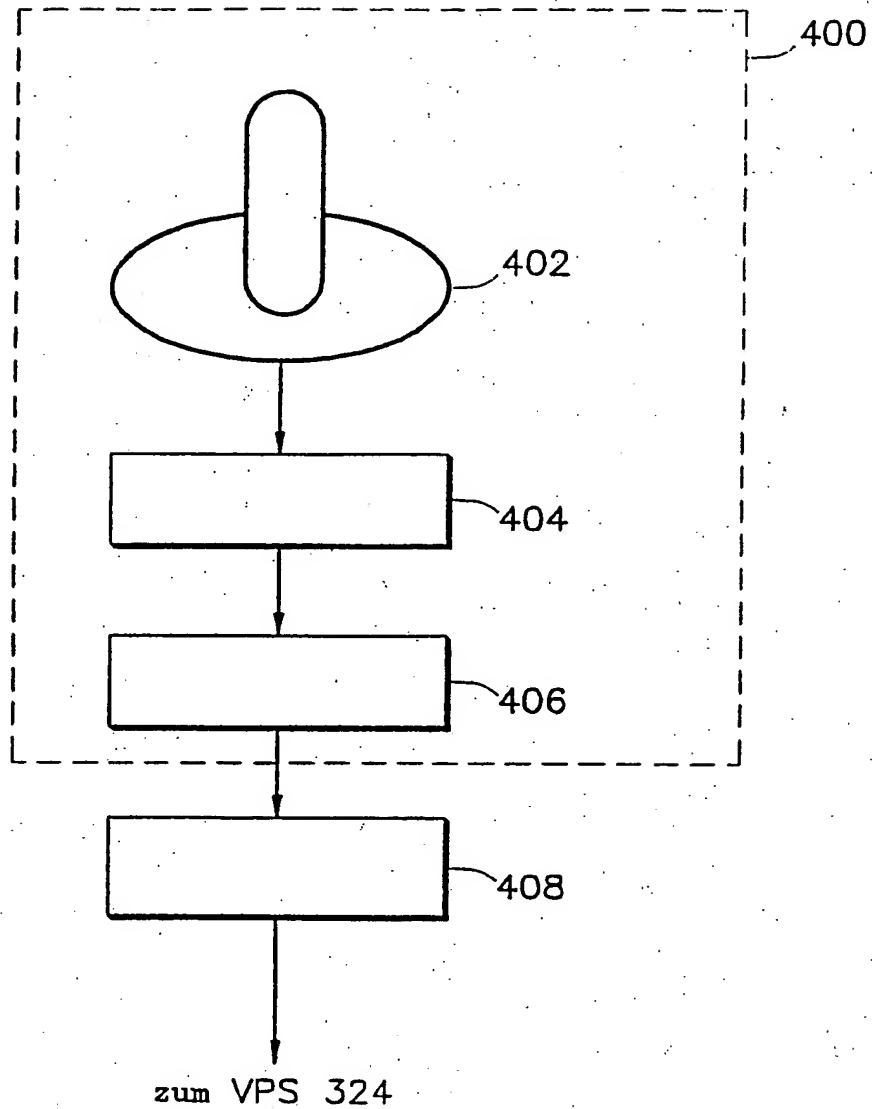


Fig. 4

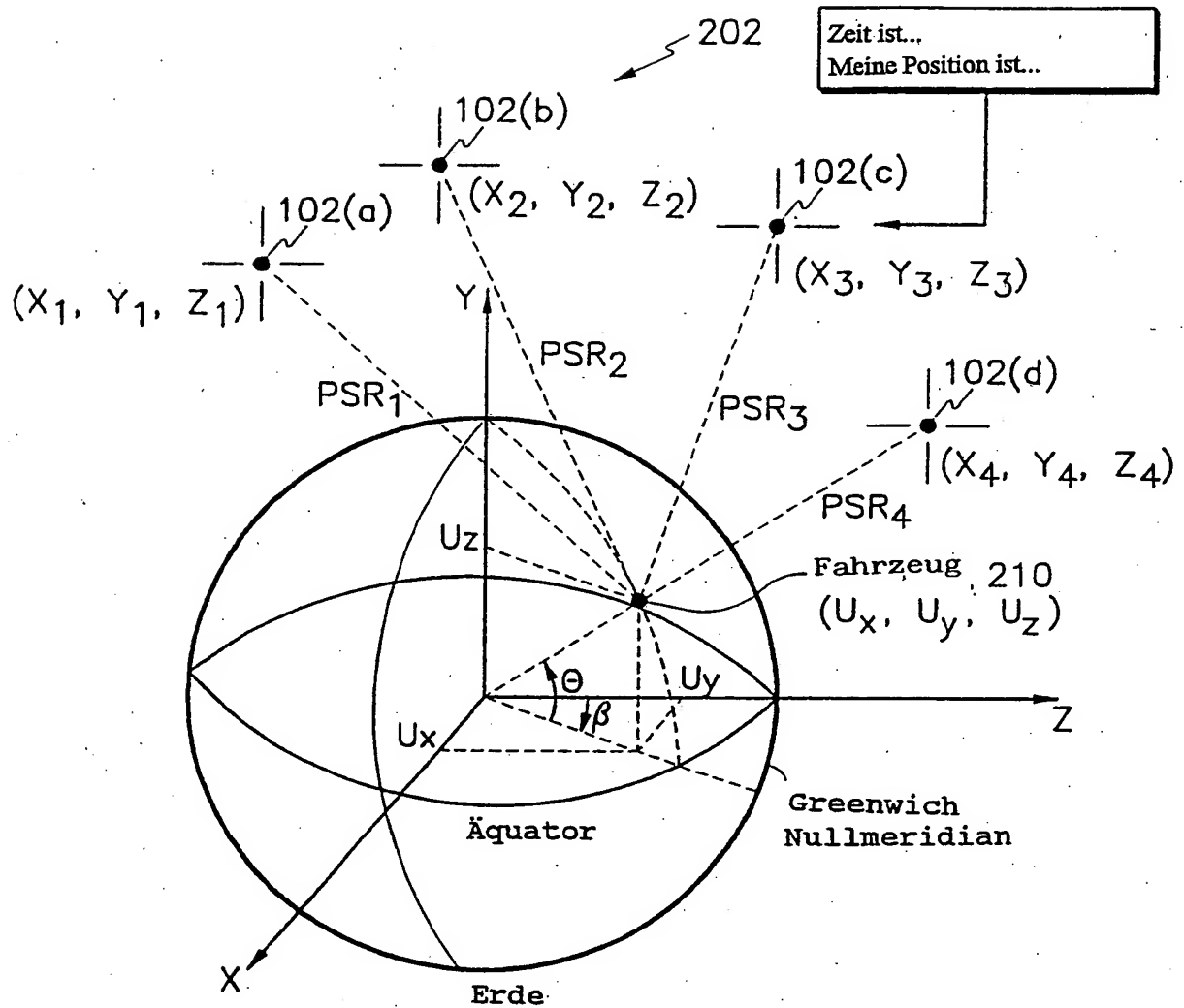


Fig. 5

600

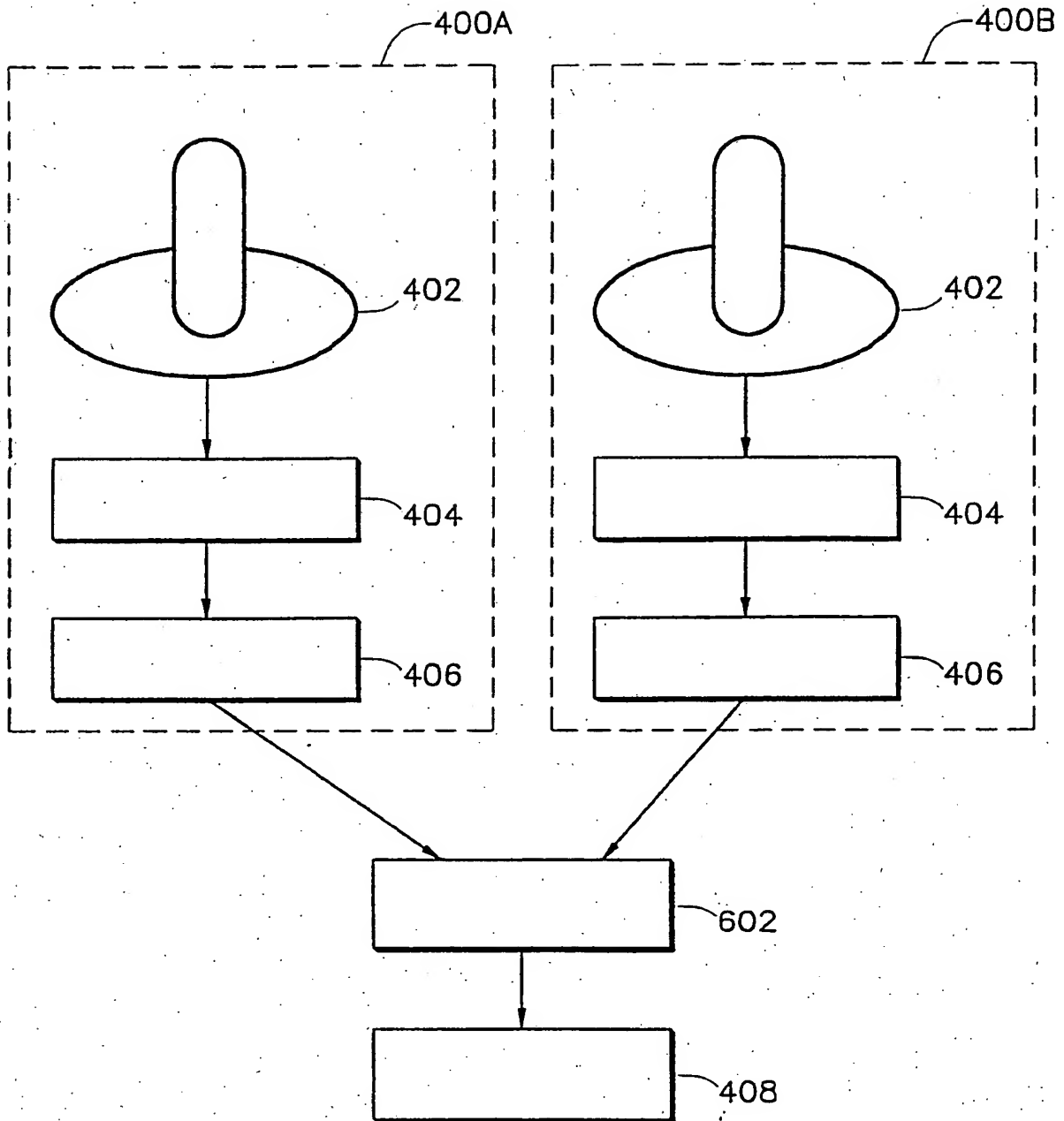


Fig. 6A

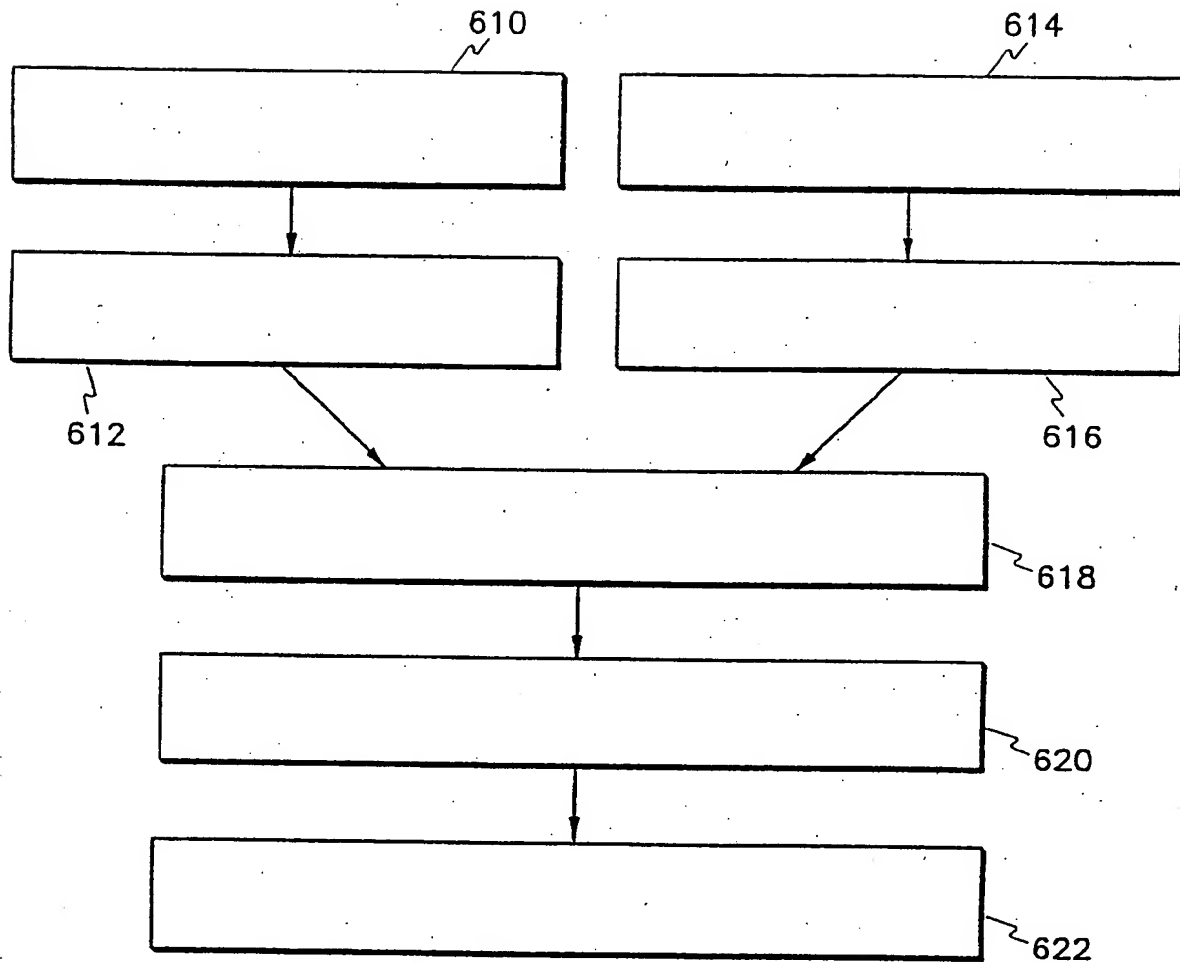


Fig. 6B

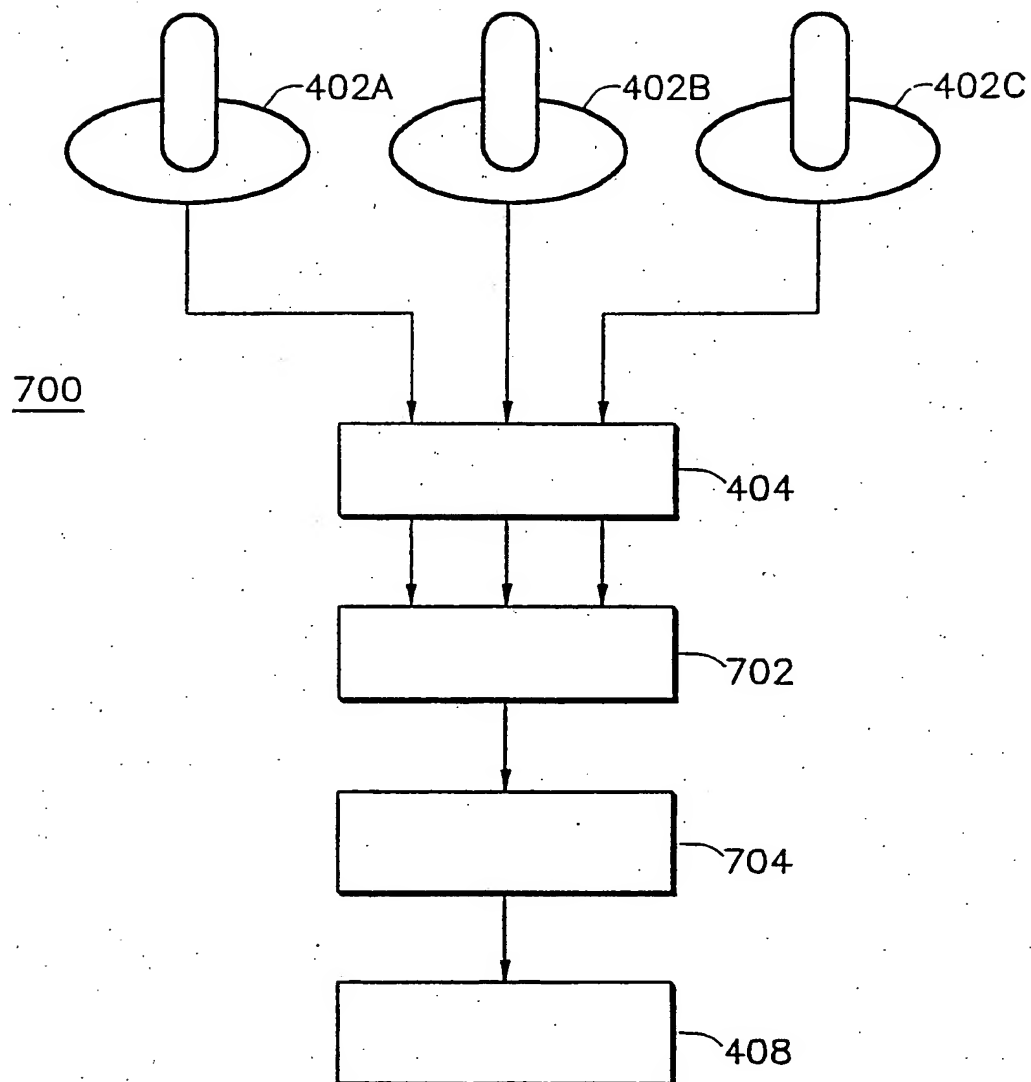


Fig. 7

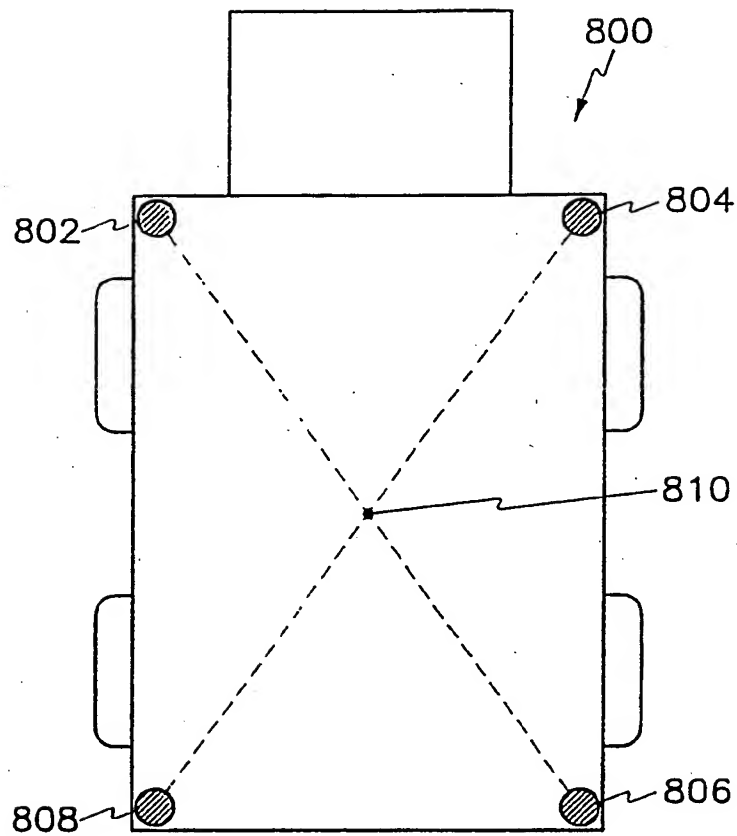


Fig. 8